

## 4. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ



Науковий вісник НЛТУ України  
Scientific Bulletin of UNFU

<https://nv.nltu.edu.ua>

<https://doi.org/10.15421/40280724>

Article received 06.08.2018 p.

Article accepted 26.09.2018 p.

УДК 681.51



ISSN 1994-7836 (print)  
ISSN 2519-2477 (online)

@ ✉ Correspondence author

N. K. Lysa

lysa.nataly@gmail.com

**Н. К. Лиса<sup>1</sup>, Л. С. Сікора<sup>1</sup>, Б. І. Федина<sup>2</sup>, Р. Л. Ткачук<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

<sup>2</sup> Українська академія друкарства, м. Львів, Україна

<sup>3</sup> Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

### ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ДІАГНОСТИКИ РІВНЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ ТЕХНОГЕННИХ СИСТЕМ В ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ З ВИКОРИСТАННЯМ ЛАЗЕРНИХ 3D-КОНЦЕНТРАТОМІРІВ

На сучасному етапі розвиток технологій виробництва, а відповідно і шкідливі викиди продуктів технологічного процесу, зростає до такого рівня, що впливає на стан екосистем як локального, так глобального характеру, що призводить до зміни клімату, породження екологічних катастроф із тяжкими наслідками для соціальної інфраструктури. Відповідно, проблема ідентифікації та діагностики джерел забруднень різної фізико-хімічної та енергетичної структури є надалі актуальною. Проведено аналіз літературних джерел, у яких розглянуто проблему екомоніторингу за період 1980–2017 рр. і викладено результати досліджень та історію катастроф за останні 100 років. Обґрунтовано методи лабораторних досліджень, вимірювальні засоби та інструментарій, державні нормативи, міжнародні програми екологічної безпеки, що підтверджує актуальність дослідження. Сформульовано завдання дослідження, обґрунтовано методи створення комплексних систем екомоніторингу на підставі інформаційних і системних технологій і інформаційно-ресурсної концепції управління та прийняття рішень для мінімізації шкідливих викидів в атмосферу. Проведено аналіз структури джерел забруднень, які породжуються енергоактивними техногенними системами з ієрархічною структурою організації технологічного процесу. Розглянуто структуру енергоактивної техногенної системи на прикладі енергоблоку ТЕС. Проведено аналіз режимів функціонування енергоактивного об'єкта на технологічному рівні термодинамічних енергетичних перетворень, визначено критичні стани. На підставі літературних і технічних даних побудовано таблиці, які характеризують властивості палива (вугілля), хімічну структуру продуктів згорання і їх викиди в атмосферу й екосередовище (воду і ґрунти).

**Ключові слова:** екологічний моніторинг; діагностика; інформаційна технологія; оброблення даних; структура; система; шкідливі викиди; концентрація; ризики.

**Вступ.** Проблема захисту екологічного середовища соціальних і техногенних систем має багатомісячну історію, а з появою залізничного і морського транспорту (парових двигунів, у яких джерело енергії було вугілля – термодинамічні енергетичні перетворення) ще більш ускладнилась. Викиди теплових електростанцій та двигунів із використанням бензину, керосину, солярки ще більше ускладнили проблему захисту довкілля, а особливо актуалізувалось питання щодо забруднення атмосфери локального, регіонального і міждержавного характеру.

З розвитком техніки (енергетика, транспорт, хімічні підприємства, залізниця, нафтопереробка) постала проб-

лема як зменшити рівень концентрації шкідливих викидів в атмосферу та розробити методи і засоби екоконтролю та способи захисту та підвищити рівень безпеки в життєвому просторі. Відповідно важливою є задача побудови систем моніторингу для виявлення джерел забруднення, їх ідентифікації та діагностики з боку режимів, що призводить до зростання викидів в екосередовище як локальне, так і глобальне.

**Огляд літературних джерел за темою дослідження.** Проблему створення систем моніторингу екосистем та засобів контролю, їх розробки розглянуто у великій кількості робіт як у минулому столітті, так і сьогодні, в яких наведено проблеми контролю, аварійних і надзви-

#### Інформація про авторів:

**Лиса Наталія Корнеліївна**, канд. техн. наук, асистент, кафедра інформаційних систем та технологій. **Email:** lysa.nataly@gmail.com

**Сікора Любомир Степанович**, д-р техн. наук, професор, кафедра автоматизованих систем управління. **Email:** lssikora@gmail.com;  
<https://orcid.org/0000-0002-7446-1980>

**Федина Богдана Іванівна**, канд. техн. наук, ст. викладач, кафедра автоматизації та комп'ютерних технологій.  
**Email:** fedynabogdana@gmail.com

**Ткачук Ростислав Львович**, канд. техн. наук, доцент, кафедра автоматизації та комп'ютерних технологій. **Email:** Rlvtk@ukr.net

**Цитування за ДСТУ:** Лиса Н. К., Сікора Л. С., Федина Б. І., Ткачук Р. Л. Інформаційні технології ідентифікації та діагностики рівня концентрації шкідливих викидів техногенних систем в природне середовище з використанням лазерних 3D-концентратомірів. Науковий вісник НЛТУ України. 2018, т. 28, № 7. С. 109–119.

**Citation APA:** Lysa, N. K., Sikora, L. S., Fedyna, B. I., & Tkachuk, R. L. (2018). Information technology of identification and diagnosis of concentration levels of harmful emissions of technogenic systems in the natural environment with a laser 3D-concentratometers. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(7), 109–119. <https://doi.org/10.15421/40280724>

чайних ситуацій та способи, методи, засоби їх ліквідації, безпечного функціонування, глобальні впливи на міжнародні проекти і директиви.

У роботі (Gurman, 1981) розглянуто математичний апарат теорії моделювання екосистем, еколого-економічні моделі, управління екологічними ресурсами, розподілені моделі управління ресурсами. У фундаментальній праці (Primak, 1999) на підставі системного аналізу обґрунтовано метод забезпечення якості екологічного середовища, засоби автоматизації захисту середовища від забруднення, метрологічні характеристики засобів вимірювань, методи оброблення вимірювальної інформації про рівень забруднення середовища, моделювання процесів забруднення, автоматизовані системи контролю стану середовища.

У роботі (Zakharov, 1986) розглянуто методи та прилади автоматичного контролю викидів шкідливих продуктів згорання у котлоагрегатах ТЕС, режими, методики і прилади, які використовують для оцінки компонент забруднення атмосфери і води, рівня концентрації шкідливих для екосистем речовин у повітрі, ґрунтах, атмосфері та способи відбору даних.

У роботі (Егемеев, 1990) проаналізовано існуючі засоби та методи розробки автоматизованих систем моніторингу екологічного середовища та радіаційного фону АЕС, на підставі концепції оброблення просторових потоків даних. У збірнику праць (Izrael, 1991) розглянуто комплекс проблем екологічного моніторингу, фізичного і математичного моделювання відкликів екосистем на джерела забруднень регіонального та глобального масштабу, стратегії протидії. У праці (Poluektov, 1994) розглянуто методи моделювання динамічних процесів в екосистемах, структуру моделей, термодинамічні процеси, експериментальне забезпечення процесу моделювання і методи та ідентифікацію моделей джерел забруднення.

У збірнику (Metody, 1989) представлено роботи з математичного моделювання, задачі радіофізичного моніторингу екосередовища, програмне забезпечення та методи обчислення, експертні системи оцінки стану екосистем. У роботах (Kukhar, 1989; Zerkalov, 2007) описано програми і директиви ЄС та ООН, які на міжнародному рівні формують вимоги до виробничих систем, засобів захисту екосередовища, систем моніторингу, міжнародної співпраці з екобезпеки.

Фундаментальні проблеми захисту середовища розглянуто у працях (Bertoks & Radd, 1980), у яких на підставі теорії ієрархічних і цілеспрямованих систем побудовано технологію оптимізації виробництва. Узгоджено стратегію з природокористування, проблеми розвитку та екологічну безпеку глобального рівня. У монографії (Klimenko, 1978) розглянуто проблеми безпеки екологічного середовища на регіональному і міжнародному рівні, моніторинг, документи, директиви, державне управління екологією, системи інформаційного забезпечення контролю рівня забруднення, джерела забруднення міжнародні стандарти.

У праці (Lomnytska & Chaban, 2009) розглянуто стратегію захисту середовища техногенних систем від забруднення на прикладі США. У ній наведено стратегію контролю за забрудненням середовища, екосередовище як система, аналіз матеріальних балансів та енергетичних механізмів прийняття рішень на управління, методи очищення та захисту повітря і вод довкілля. У

довіднику (Durniak et al., 2017) розглянуто комплекс мір щодо захисту атмосфери від промислових забруднень різної фізичної і хімічної структури, засоби контролю, законодавчі міри, вплив на екосередовище різних галузей. У монографії (Sikora et al., 2015) розглянуто методи: фізико-хімічні, електрохімічні, оптичні – аналізи рівня забруднення екологічного середовища техногенними системами, способи відбору й опрацювання даних. У праці (Lysa et al., 2013a) обґрунтовано підходи до модернізації котлоагрегатів теплової електростанції для збільшення потужності та надійності функціонування, мінімізації шкідливих викидів та ризиків і аварій у разі граничних навантажень.

У монографії (Lysa et al., 2013b) розроблено комплексний підхід на підставі системного аналізу та інформаційних технологій для створення систем екомоніторингу. Розглянуто моделі енергоактивних об'єктів (структура, динаміка), причинно-наслідкові діаграми чинників впливу, процедури прийняття рішень, лазерний контроль концентрації викидів в атмосферу й у воду. У роботі (Lysa & Sikora, 2015) на підставі концепції енергоактивності створено основу аналізу і синтезу енергоактивних ресурсних перетворень під час генерації енергетичних потоків, які представляють формування потоків енергії і шкідливих викидів на підставі лазерного зондування процесу.

У роботах (Lysa, Sikora & Yavorskyi, 2017; Lysa et al., 2017; Sikora et al., 2017) розглянуто проблему створення систем екомоніторингу викидів техногенними системами в атмосферу і водне середовище засобів контролю шкідливих викидів на підставі методу прямого лазерного зондування. У книзі англійського вченого (Sikora et al., 2017) розглянуто проблему забезпечення функціонування хімічних виробництв, сутність проблеми безпеки, дані щодо хімічних аварій, небезпек і ризиків, чинники ризиків і аварій, виникнення пожегарів і великих аварій, вибухи на підприємствах, ступеня небезпек, стратегії зменшення небезпек, підготовка кадрів із забезпечення безпеки підприємства.

**Мета і завдання дослідження.** Метою є обґрунтування методів створення комплексних систем, екомоніторинг екологічного середовища енергоактивними техногенними системами та розроблення процедур діагностики й ідентифікації агрегатів із підвищеною понад норму концентрацією шкідливих викидів на підставі лазерного 3D-зондування.

Завдання, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети:

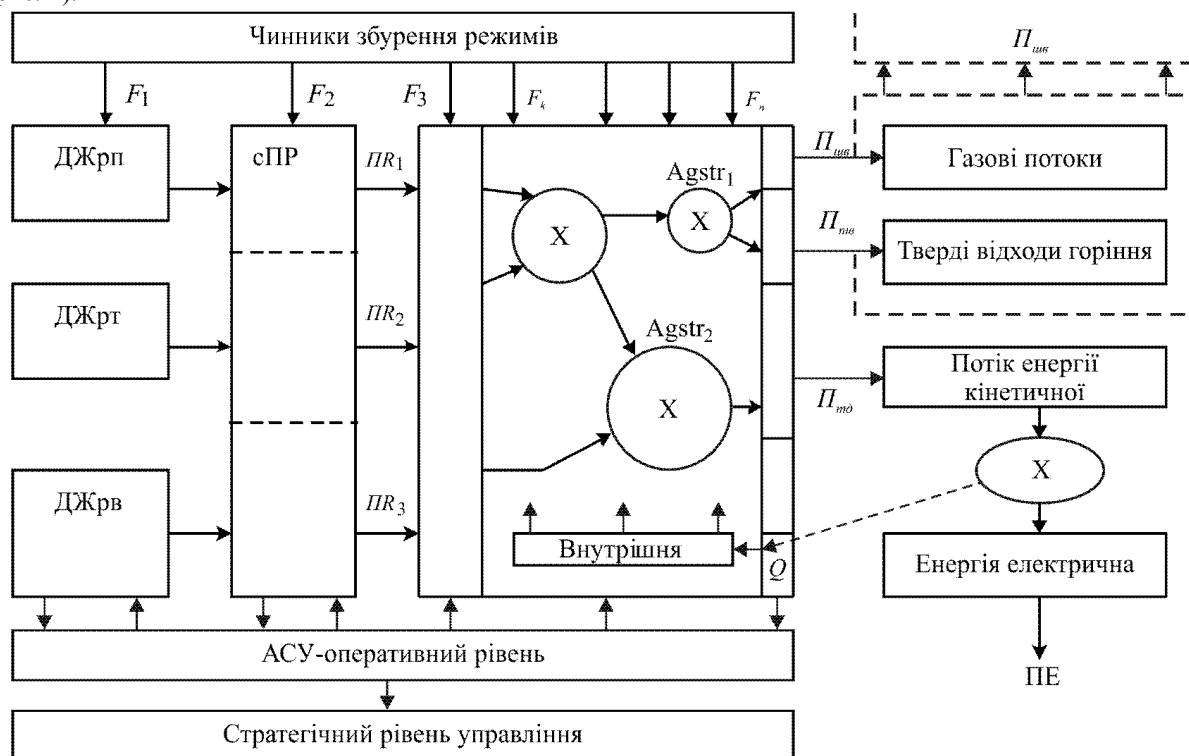
- провести аналіз існуючих методів контролю концентрації шкідливих викидів в атмосферу і воду енергоактивними об'єктами;
- провести аналіз шкідливих викидів в атмосферу тепловими електростанціями;
- обґрунтувати використання категорного аналізу та теорії ієрархічних систем для структуризації енергоактивного об'єкта як джерела викидів;
- розробити процедури діагностики агрегатів та діаграми контролю режимів, при яких зростає рівень концентрації викидів;
- розробити відповідні методи ідентифікації джерел забруднення ТЕС;
- обґрунтувати використання методу 3D лазерного зондування оцінки концентрації шкідливих пило-газових викидів в атмосферу;
- обґрунтувати методи і засоби зменшення ризиків екологічних катастроф і аварій завдяки оптимізації режимів енергоактивних об'єктів.

**Викладення основного матеріалу.** Відповідно до етапів комплексної проблеми екомоніторингу розглянемо декілька питань.

### 1. Аналіз структури джерел забруднення

Відповідно до мети дослідження проаналізуємо структуру енергоактивного об'єкта техногенної системи з ієрархією на підставі теорії ієрархічних систем, яка продукує шкідливі викиди в зовнішнє екологічне середовище (повітря, ґрунти, воду).

Організаційна ієрархічно-агрегатна структура включає (рис. 1):



**Рис. 1.** Ієрархічно-агрегатна структура енергоактивного об'єкта: ДЖрп – ресурс повітря ( $O_2$ ), ДЖрт – ресурс палива (вугілля), ДЖрв – ресурс води, СПР – система підготовки ресурсів, ПРi – потоки ресурсів на вході енергоблоку генерації термодинамічної енергії, Agstr – агрегатні структури, Пшв – потік шкідливих пило-газових викидів, Пtv – потік твердих викидів (шлаки), Пtd – потік термодинамічної енергії, Пе – потік електричної енергії, Q – режимні параметри агрегатів

Для аналізу режимів функціонування технологічного рівня перетворень (ресурси – енергія) необхідно мати знання і дані про:

- структуру системи і її параметри енергоактивних перетворень;
- динаміку процесів, їх інформаційну і системну сутність, що необхідно для відображення термодинамічних і енергетичних перетворень під час формування енергетичних потоків, що необхідно для управління об'єктом;
- процес горіння і структуру пило-газових і твердих відходів як забрудників навколишнього середовища для оцінки рівня їх концентрації;
- процеси контролю параметрів і динамічного стану системи й управління агрегованими лініями в структурі енергоблоку;
- системи контролю рівня концентрації шкідливих викидів;
- властивості ресурсів (води, палива, повітря) і їх роль у формуванні енергетичних потоків і потоків викидів) як підстави управління.

На основі проведеного аналізу побудовано таблиці властивостей палива та продуктів згорання (табл. 1-3) (Gurman, 1981; Lysa et al., 2013a). Відповідно до (Lomnytska & Chaban, 2009), наведемо таблиці шкідливих викидів в атмосферу і їх осадів у воду і ґрунти, які характеризують стан енергетики, рівень забруднень екологічного середовища.

- техногенний рівень термодинамічних і енергетичних перетворень ресурсів в енергію продуктів газоподібних та твердих відходів;
- рівень оперативного управління енергоперетворення ресурсів палива;
- стратегічний рівень управління системою згідно з рівнями ієрархії;
- агрегатна структура енергоактивного блоку та процесу енергоформування;
- рівень формування потоків відходів (газоподібних, пилових та твердих) із продуктів згорання у котлах енергоблоків.

**Табл. 1. Параметри активного реагента (вугілля, як джерело енергії, Львівсько-Волинський басейн)**

№ з/п	Параметр	Позначення	Показник
1	Теплотворна здатність	$Q_n$	5830 ккал/кг
2	Вихід летючих компонентів	$V_r$	39 %
3	Зольність палива	$A_p$	21 %
4	Вологість палива	$W_p$	6,5 %
5	Вміст сірки	$S_p$	3,7 %
6	Температура горіння вугільного пилу в котлі	$T_p$ °C	(1600-1800) °C
7	Температура загорання	$T_3$ °C	> 600 °C
8	Температура відхідних газів процесу горіння	$T_{вг}$ °C	(750-900) °C
9	Коефіцієнт надлишку повітря для горіння	$K_{п}$	(0,8-1,25)
10	Температура продуктів згорання у димоходах	$T_3$ °C	(120-205) °C
11	Викид вугільного пилу в електрофільтр	$m_V$ , кг/год	(300-600)
12	Гранична концентрація вибуху вугільного пилу	$C_k$ , кг/м <sup>3</sup>	(3,2-4,0) кг/м <sup>3</sup>

**Табл. 2. Хімічні компоненти в газових продуктах згорання у нормальному режимі**

№ з/п	Реагент	Вміст у %	Режим (60-200) МВт	Надлишок
1	H <sub>2</sub> S	(0,01-0,2)%	норма	1,18-1,3
2	CO	(1-5)%	норма	1,25
3	H <sub>2</sub>	(0,3-5)%	норма	1,25
4	O <sub>2</sub>	(0,5-3)%	норма	1,25
5	CH <sub>4</sub>	(0,01-0,3)%	норма	1,0
6	SO <sub>2</sub>	(0,4-0,6)%	max	1,25
7	Втрати теплоти та палива з відходами (T °C, g)	T (360-400) °C	max	1,25
		g (7-9)%	max	1,25

**Табл. 3. Викиди продуктів згорання в атмосфері (пил, газ)**

Тип	Кількість
Димові газ	16×10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup> /рік
CO <sub>2</sub>	3098 т/рік
NO <sub>x</sub>	13760 т/рік
CO, SO <sub>2</sub>	4000 т/рік
Тверді відходи	(20÷40) % від спожитого палива
Недопал O <sub>2</sub>	(1÷6) %
Недопал C	(1÷65) %
Споживання H <sub>2</sub> O	(20÷50) % водного ресурсу
Бурштинська ТЕС (загальна потужність)	(12×200) МВт
Рідкоземельні елементи	(індій, талій і інші) < 0,01 кг/год

Згідно з (Primak, 1999; Zakharov, 1986; Klimenko, 1978; Durniak et al., 2017; Lomnytska & Chaban, 2009) – забрудники екологічного середовища мають багатокомпонентну фізичну, хімічну та механічну структури. Відповідно до даних, наведених у літературних джерелах (Durniak et al., 2017; Sikora et al., 2015), забруднення води і ґрунтів техногенними системами мають відповідний хімічний склад (табл. 4).

Отже, для оцінки рівня забруднення (концентрації шкідливих речовин у воді, ґрунтах, повітрі) необхідно мати відповідні інформаційно-вимірювальні системи,

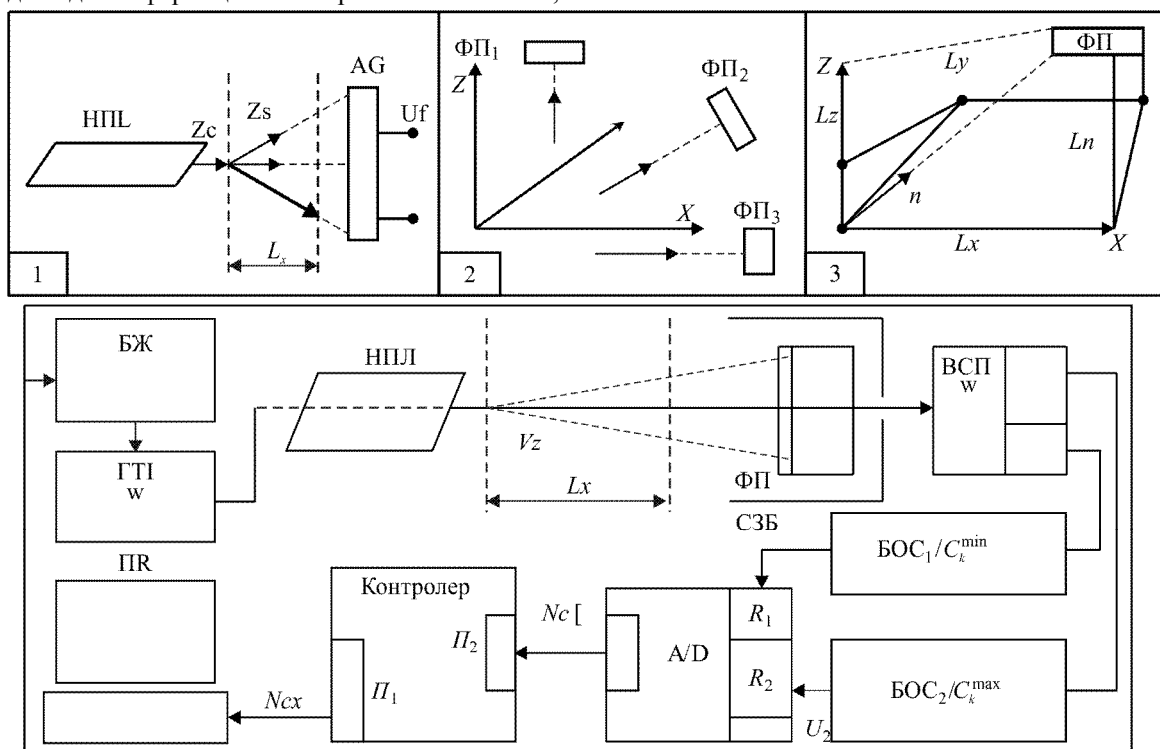
сенсори, які реагують на хімічний склад речовин, засоби вимірювання і метрології, методи й алгоритми оброблення потоків різних даних та їх інтерпретації відносно оцінки ситуації.

**Табл. 4. Вміст у ґрунтах осадів шкідливих викидів техногенних систем. Мікроелементи в структурі газоподібних і твердих викидів**

Елемент	мг/кг	Елемент	мг/кг
Бор	10 <sup>-3</sup> %	NO <sub>3</sub>	0,1-2,0
Манган	20-5·10 <sup>3</sup>	сульфати	0,01-2,0
Мідь	1-150	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	< 2,0
Цинк	5-100	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	< 2,0
Кобальт	0,5-20	CL <sup>-</sup>	0,001-0,45
Молібден	0,2-10	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,001-0,45
Нікель	0,2-1,0	Na	1,0-2,6
Алюміній	1,0-7,3	K	1,0-26
Залізо	2-10,0	Ca	1,0-36
Фосфор	0,1-2,0		

## 2. Лазерний контроль забруднення атмосфери

Найбільш складною проблемою є створення засобів контролю технологічних і екологічних середовищ, які характеризуються високою концентрацією та температурою газових потоків як забрудників, є розроблення сенсорів (без контакту механічного з області контролю). Для вирішення цього проблемного завдання найбільш адекватним є використання методу лазерного дистанційного зондування атмосфери ТЕС одноканальним або трьохкомпонентним лазерним променем (3D-проекціями по осях координат (x, y, z) та заданих базисах віддалей (L<sub>x</sub>, L<sub>y</sub>, L<sub>z</sub>)), згідно з рисунками, які наведені нижче. Структура каналу вимірювань рівня концентрації шкідливих викидів в атмосферу енергоактивними об'єктами, на підставі методу лазерного проекційного зондування має відповідне (рис. 2) представлення для контролю забруднення атмосфери.



**Рис. 2.** Структурно-функціональна схема лазерного концентроміра: БЖ – блок живлення, ГП – генератор модуляції лазерного променя з частотою (n-50) Гц, НПЛ – напівпровідниковий лазер в імпульсному режимі, ФП – фотоматриця, СЗБ світлозахисний блок, ВСП – вхідний сигнальний перетворювач, БОС1, 2 – блок оброблення сигналу від лазера, (A/D) – аналогово-дискретний перетворювач даних (U<sub>x</sub>, L<sub>x</sub>)

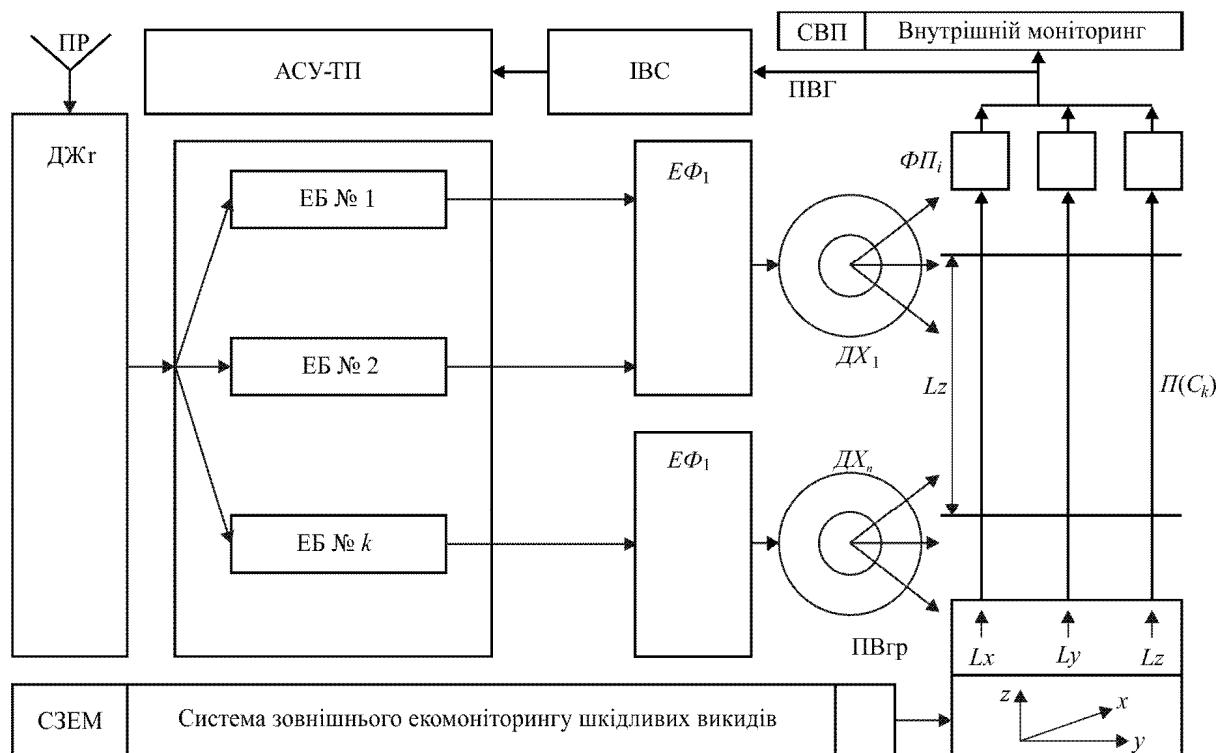


Лазерний проекційний концентратомір забруднення атмосферного повітря має два режими для різних рівнів концентрації забруднень ( $<50 \text{ мг/м}^3$ ,  $[50.0-150] \text{ мг/м}^3$  /  $L_x = [10-50] \text{ м}$ ), що забезпечує ефективний контроль забруднення атмосфери техногенними системами.

### 3. Ідентифікацію чинників впливу на режим зростання рівня концентрації шкідливих викидів продуктів згорання в котлі енергоблоку

На підставі технології інтеграції категорно-функторних і факторних діаграм з діаграми Ісикави (Lysa et al., 2017), згідно з побудованою структурною схемою з'єднання агрегатів ОУ побудуємо діаграму Ісикави, в

якій інтегровано як системні, так і категорні моделі системи підготовки вугільного палива для котлоагрегата. Згідно зі структурою енергоблоку та критичними параметрами, які визначають якість палива і концентрацію компонентів за неповного згорання палива (див. табл. 1-4), побудуємо моделі синтезу діагностичної процедури (рис. 4) та інтегрованої діаграми Ісикави, а також діагностичну діаграму причинно-наслідкових зв'язків і виявлення критичних параметрів, перевищення яких призводить до зростання шкідливих викидів продуктів згорання (рис. 3).



**Рис. 3.** Схема формування викидів енергоактивним об'єктом: ДЖг – джерело ресурсів, необхідних для забезпечення термодинамічних енергетичних перетворень генерації електроенергії, ЕБ – енергоблоки ТЕС, ЕФ – електрофільтри продуктів згорання вугільного палива, ДХ – система димоходів потоків (пило-газових) від котлів енергоблоків, ПСК – поле концентрації шкідливих викидів, СВП – система внутрішнього моніторингу, СЗЕМ – система зовнішнього екологічного моніторингу, ПВГпз – потоки вихідних газів продуктів згорання з димоходів, ІВС – інформаційно-вимірювальна система комплексу параметрів, АСУ-ТП – автоматизована система управління режимом енергоблоків

### 4. Синтез процедур діагностики та ідентифікації джерел несправності об'єктів

Для контролю параметрів режиму та діагностики ідентифікації збоїв на підставі (див. рис. 4) інформаційно-ресурсної концепції розробимо діагностичну діаграму і системно-інформаційну схему відображення процесу підготовки палива для котлів енергоблоків ТЕС, як основу виявлення в агрегатах несправностей, що призводять до зростання концентрації шкідливих викидів (рис. 5).

Для системи підготовки води (модель А), необхідної для генерації високотемпературної пари в парогенераторі котла (КТ<sub>А</sub>, КТ<sub>Б</sub>) енергоблоку, розроблено діаграму Ісикави (рис. 6) згідно з агрегованою структурою системи подачі води. Відповідно до діаграми побудовано ідентифікаційну процедуру діагностики й оцінки ступеня забруднення води після системи водопідготовки ( $C_k, S_R, M_d, XR$ ) (модель Б, див. рис. 6).

На основі представлення структури котлоагрегатів енергоблоку (див. рис. 6) формується інтегрована діа-

грама Ісикави, яку використано для побудови ідентифікації причинно-наслідкових зв'язків чинників впливу на режим агрегатів, що відповідно призводить до зростання концентрації викидів в екосередовище  $\{C_{K1}, C_{K2}, C_{K3}\}$ .

Діаграма є підставою для виявлення критичних режимів агрегатів, параметрів стану якості палива та вибраної стратегії управління енергоблоком. За конструктивною співпраці адміністрації ТЕС та СЕК (системи екологічного контролю) у режимі діалогу завжди можна вибрати оптимальні стратегії управління режимами енергоблоків за мінімального рівня концентрації шкідливих викидів на основі балансу (рис. 7).

Відповідно неузгодженість стратегії та перевищення концентрації викидів призводять до конфлікту, що підтверджує актуальність вирішення проблеми створення лазерних сенсорів концентрації для контролю шкідливих викидів в атмосферу, ґрунти, воду, які забезпечили б відповідну достовірність результатів вимірювань (рис. 8, моделі А і Б).

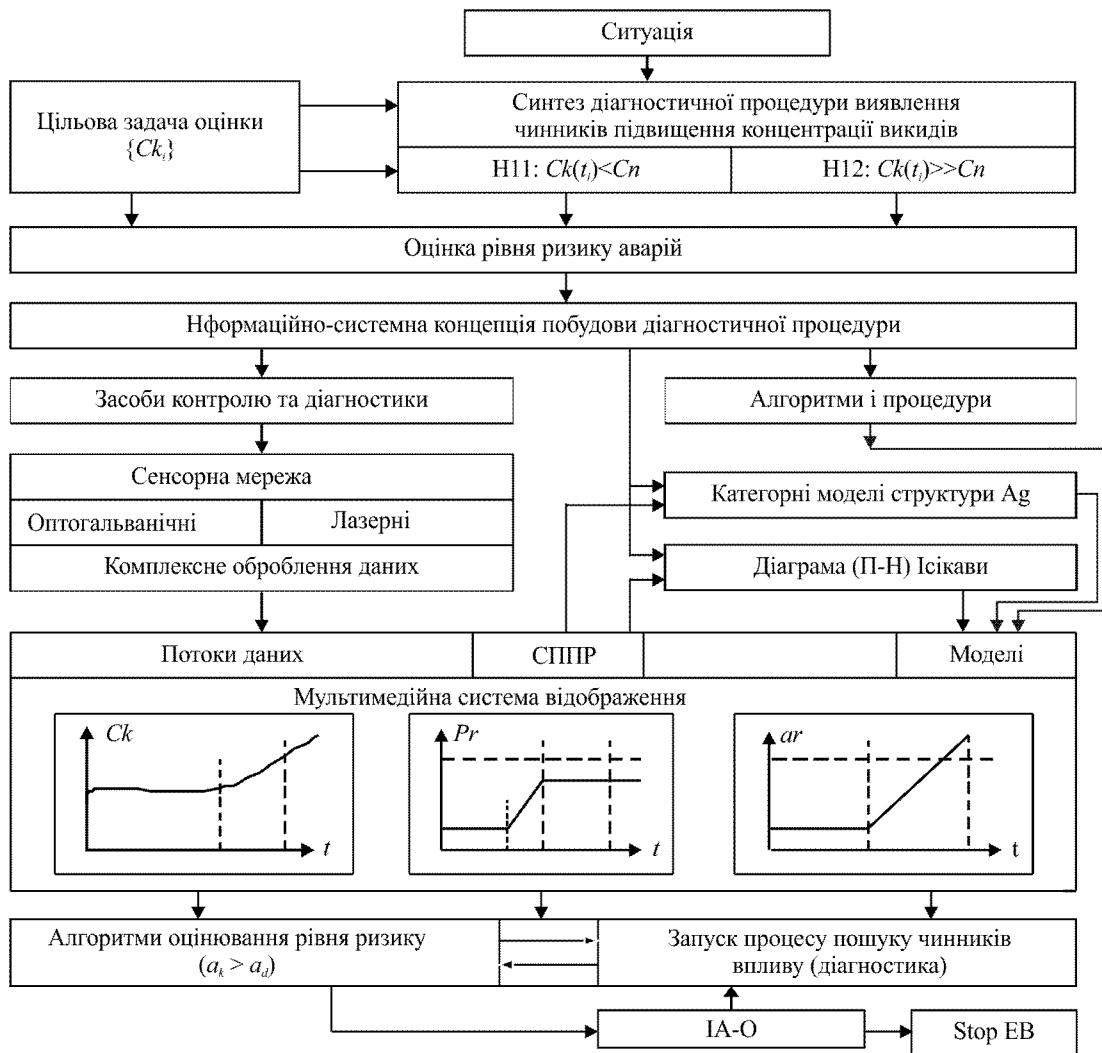


Рис. 4. Синтез процедур діагностики збою режимів та вибір типу сенсорів

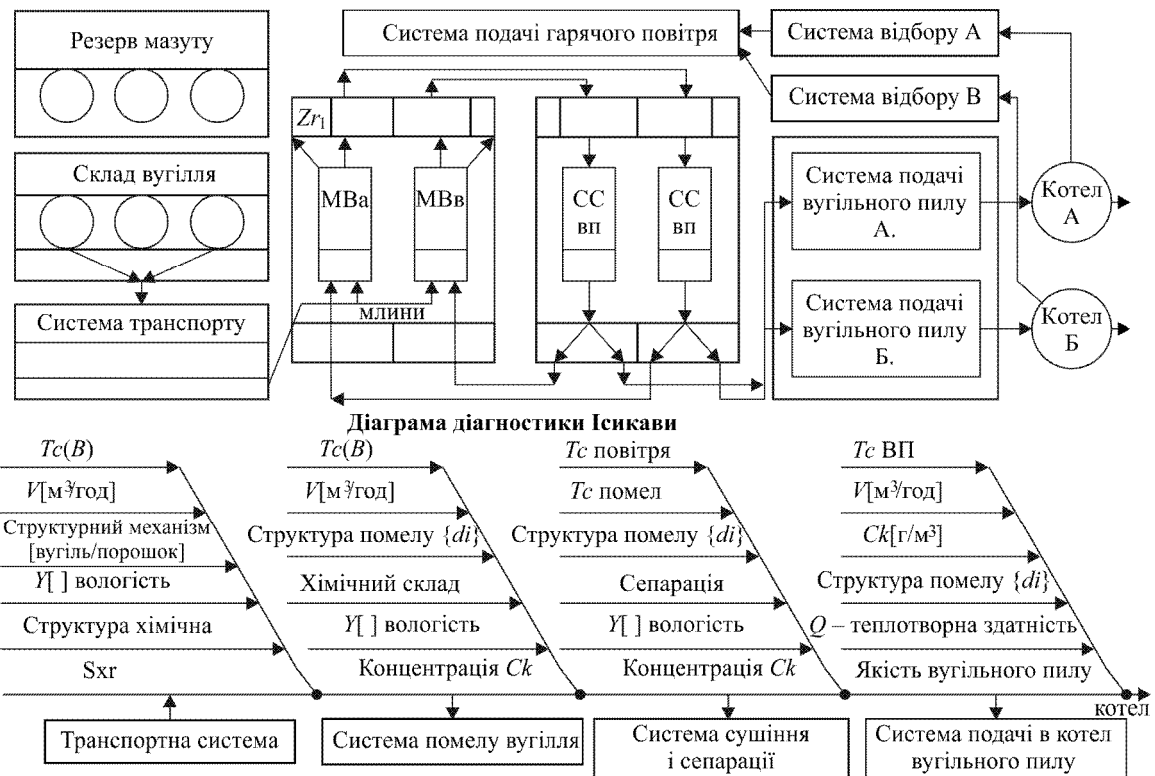


Рис. 5. Діагностична діаграма і системно-інформаційна схема відображення процедури підготовки палива для котлів енергоблоку ТЕС: (МВ<sub>А</sub>, МВ<sub>Б</sub>) – млини вугілля, (СС<sub>ВП</sub><sup>А</sup>, СС<sub>ВП</sub><sup>Б</sup>) – системи сепарації вугільного пилу, (КТ<sub>А</sub>, КТ<sub>Б</sub>) – котли енергоблоків А і Б, {Z<sub>n</sub>} – параметри режиму агрегатів.

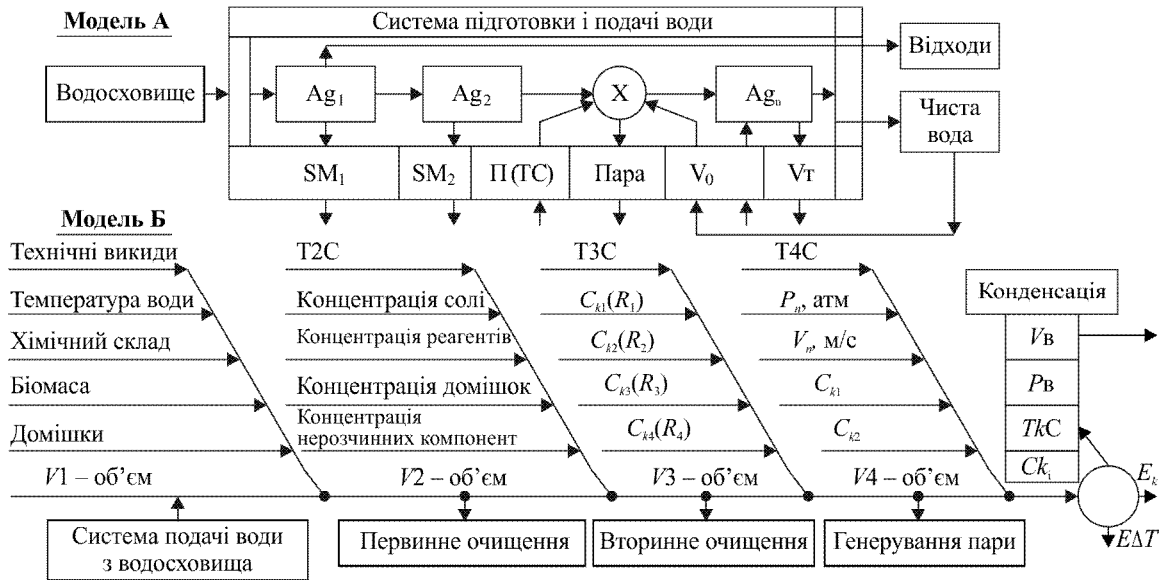


Рис. 6. Діагностична діаграма і схема підготовки та подачі води для котлів і парогенератора енергоблоку ТЕС

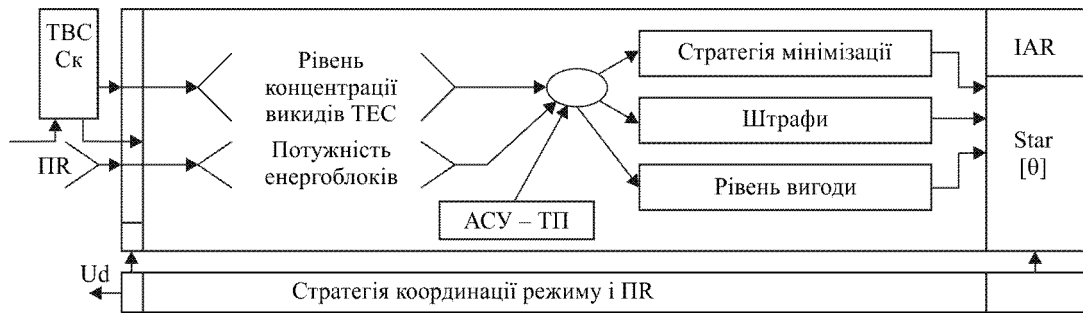


Рис. 7. Схема формування стратегії координації

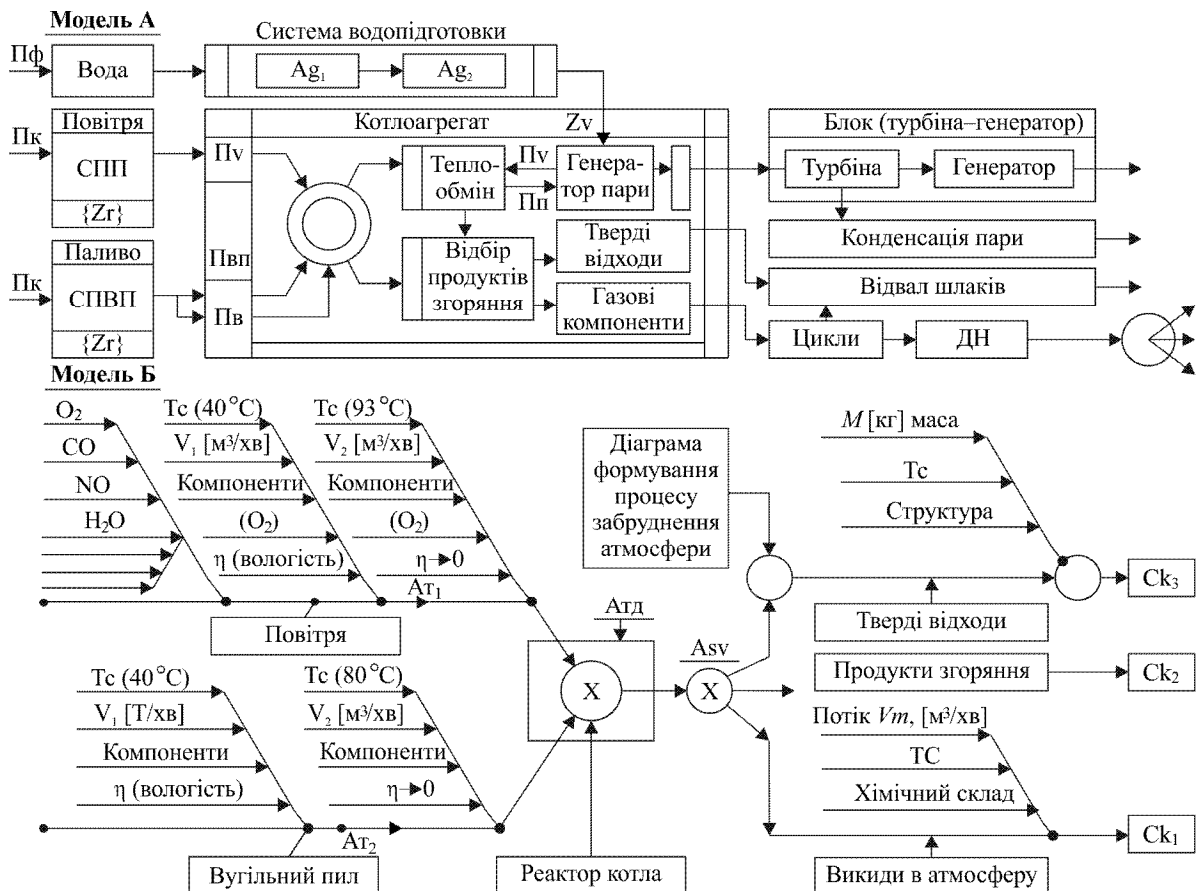


Рис. 8. Діагностична діаграма та схема формування викидів продуктів згоряння: (Пр, Пк) – потоки енергоактивних ресурсів, {Ag} – агрегатна структура об'єкта, СПП – система підготовки повітря, СПВП – система підготовки вугільного пилу з вугілля ( $C_k$  (20-80  $\text{мг}/\text{м}^3$ ), (Пв, Пвп, Пв) – потоки технологічних ресурсів, Дн – динамічні газові потоки продуктів згоряння ( $V_n=12$  м/с,  $C_k =$  (10-200)  $\text{мг}/\text{м}^3$ ),  $C_k$  – концентрація продуктів згоряння та їх викиди в екосередовище

### 5. Оптимізацію стратегій мінімізації шкідливих викидів і екологічних ризиків

Відповідно до структури енергоблоку та наведених діаграм Ісикави (див. рис. 6-8) побудуємо інформаційну технологію оптимізації за рівнем мінімуму концентрації викидів, процесу управління енергоактивним об'єктом на оперативному рівні в системі ієрархічної структури енергоблоку (рис. 9).



Рис. 9. Схема інформаційної технології відбору, опрацювання, інтерпретації даних забезпечення процесу управління режимом енергоблоку

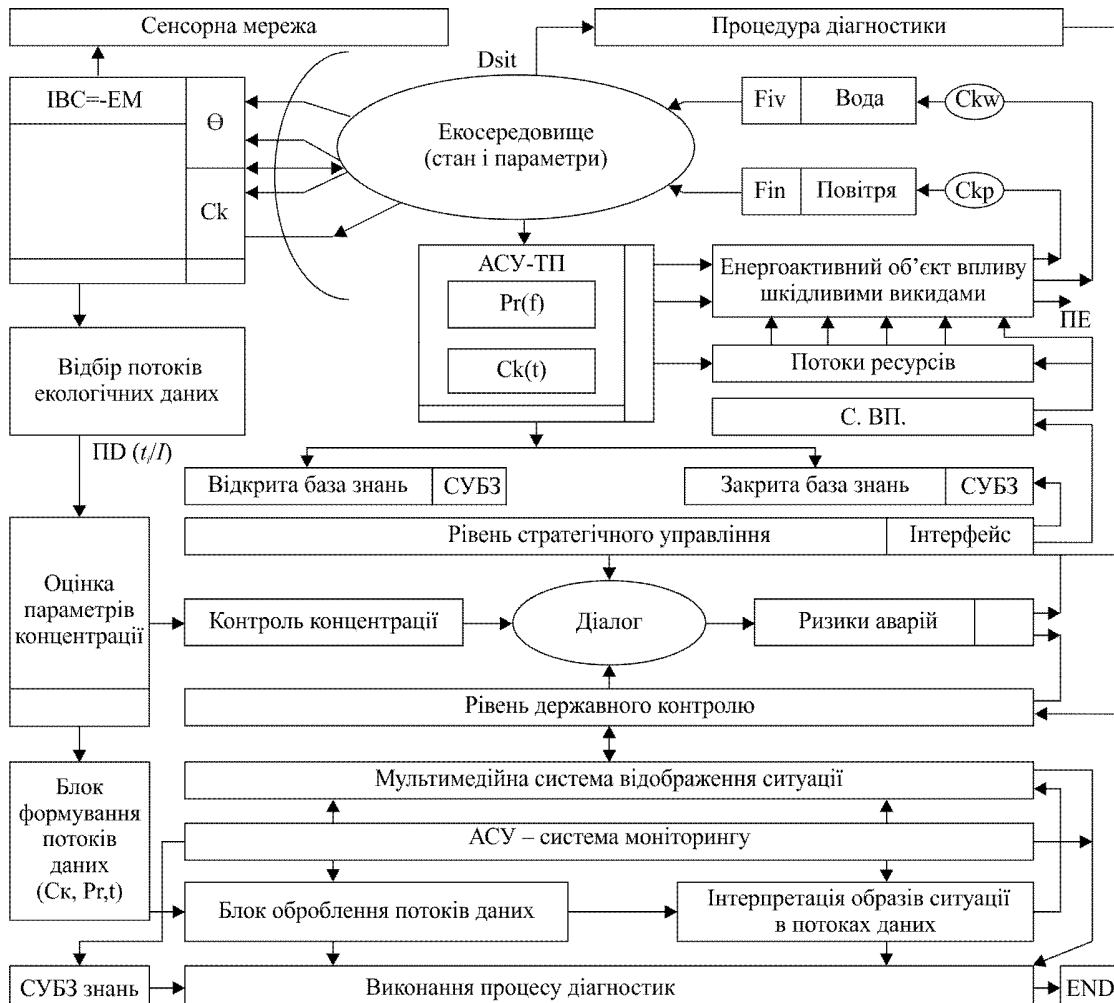


Рис. 10. Структурно-функціональна схема процедури діагностики збоїв режиму енергоактивного об'єкта: ІВС-ЕМ – інформаційно-вимірвальна система в структурі екомоніторингу,  $Dsit$  – динамічна ситуація ( $Dsit \cong (\{\theta(t_i)\}_{i \in T})$ ),  $Fiv$  – чинник збурення води,



$Fin$  – чинник збурення атмосфери,  $\{C_{kv}, C_{kp}\}$  – концентрація потоків забруднення (шкідливі викиди), СУБЗ – система управління базами знань,  $\{C_k, Pr, l\}$  – концентрація потоку шкідливих викидів, одержаних у процесі контролю,  $(\theta(\hat{i}))$   $\theta$  – оцінка параметра стану енергоактивного об'єкта

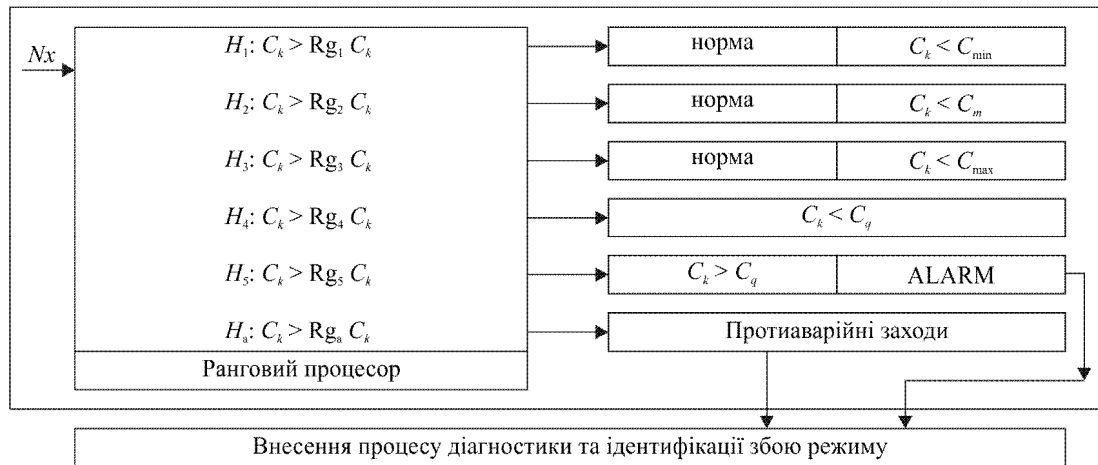


Рис. 11. Ранговий аналізатор ( $C_k$ ) – рівня концентрації шкідливих викидів

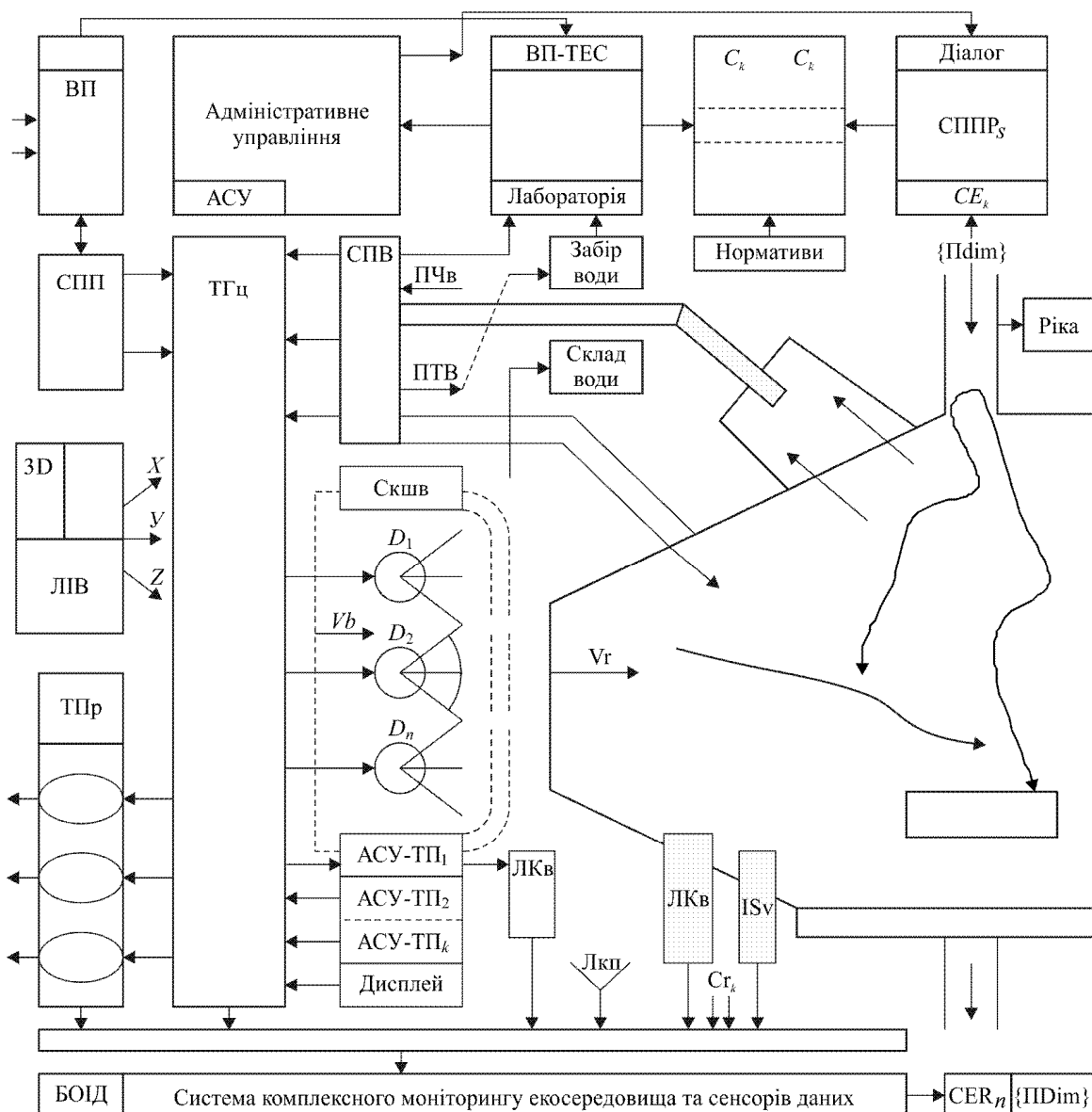


Рис. 12. Схема комплексного екомоніторингу шкідливих викидів технологічного енергоактивного об'єкта в екологічне середовище: ТГц – турбіно-генераторний цех, СПВ – система підготовки вугільного палива, ВЛ-ТЕС – виробнича лабораторія контролю параметрів технологічних процесів ТЕС, АСУ – система автоматизованого управління, АСУ-ТП – системи автоматизованого управління енергоблоками, ДПі – димоходи відводу продуктів згоряння, СКШВ – системи шкідливих газових викидів продуктів згоряння, ВСП – водосховище, СПВ – система забору і підготовки води, СПП – система підготовки повітря, ВП – відбір проб, СППР – система підтримки управління стратегічного рівня

Згідно з проведеним аналізом режимів енергоактивних об'єктів, процедурами ідентифікації (діаграмою Ісикави) причинно-наслідкових зв'язків та структурною організацією ТЕС побудуємо схему моніторингу екологічного середовища навколо ТЕС та процедури діагностик збоїв режиму на підставі інформаційної технології (рис. 10).

Для класифікації режимних ситуацій у процедурі діагностики розроблено ранговий аналізатор рівня концентрації шкідливих викидів на підставі методу перевірки логічних гіпотез, оцінок рівня концентрації на підставі даних від лазерних інформаційно-вимірювальних систем (ЛІВС) концентратомірів (рис. 11).

Відповідно до розробленої інформаційно-ресурсної концепції (Lysa et al., 2013b; Lysa & Sikora, 2015) побудуємо на підставі проведеного аналізу проблеми екомоніторингу схему комплексного екомоніторингу шкідливих викидів енергоактивними об'єктами техногенних систем в екологічне середовище (рис. 12). Система комплексного моніторингу включає такі блоки ІВС: сенсори ЛКп – лазерного контролю повітря, ЛКв – лазерний контроль забруднення води, ІСv – іонно-селективні сенсори рівня забруднення хімічними реагентами, СКТ – сенсор контролю забруднення ґрунтів, ФПД – формувач нормуючих потоків даних про стан екосередовища ТЕС, БОІДм – блок оброблення й інтерпретації даних моніторингу, СЕК<sub>4</sub> – система екоконтролю та управління моніторингу, ЛІВск – лазерна інформаційно-вимірювальна система контролю рівня концентрації шкідливих викидів продуктів згоряння у котлах енергоблоку, побудована на підставі методу прямого 3D лазерного зондування атмосферного середовища.

**Висновки.** На підставі системного і структурного аналізу та нормативних даних розроблено інформаційну технологію ідентифікації та діагностики рівня шкідливих викидів техногенних систем в екологічне середовище з використанням лазерних сенсорів, що є підставою для підвищення рівня ефективності контролю забруднення екосередовища.

Обґрунтовано метод оптимізації шкідливого впливу на екосистему ТЕС на підставі концепції балансу рівня (шкода – вигоди), яку покладено в основу вироблення стратегії оптимального управління режимами енергоблоків ТЕС та електрофільтрами.

## Перелік використаних джерел

Bertoks, P., & Radd, D. (1980). *Strategiia zashchity okruzhaiushchei sredi ot zagriaznenii*. Moscow: Mir, 606 p. [In Russian].

Durniak, B. V., Sikora, L. S., Lysa, N. K., Tkachuk, R. L., & Yavorskyi, B. I. (2017). *Informatsiini ta lazerni tekhnologii vidboru potokiv danykh ta yikh kohnityvna interpretatsiia v avtomatyzovanykh systemakh upravlinnia*. Lviv: Ukrainska akademiia druzkarstva, 644 p. [In Ukrainian].

Eremeev, I. S. (1990). *Avtomatizirovannye sistemy radiatsionnogo monitoringa okruzhaiushchei sredi*. Kyiv: Naukova dumka, 256 p. [In Russian].

Gurman, V. I. (Ed.). (1981). *Modeli upravlinnia prirodnymi resursami*. Moscow: Nauka, 204 p. [In Russian].

Izrael, Iu. A. (Ed.). (1991). *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniia ekosistem*. (Vol. 8). Leningrad: Gidrometeoizdat, 313 p. [In Russian].

Klimenko, A. P. (1978). *Metody i pribory dlia izmereniia kontsentratsii pyli*. Moscow: Khimiia, 206 p. [In Russian].

Kukhar, V. M. (1989). *Ekotekhnologii. Optimizatsiia tekhnologii proizvodstva i prirodopolzovanie*. Kyiv: Naukova dumka, 264 p. [In Russian].

Lomnytska, Ya. F., & Chaban, N. F. (2009). *Khimichni ta fizyko-khimichni metody analizu v ekolohichnykh doslidzhenniakh*. Lviv: VTs LNU im. Iv. Franka, 304 p. [In Ukrainian].

Lysa, N. K. (2017). Systemomological analysis of the creation of information technologies of integrated monitoring of technogenic systems. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(10), 146–150. <https://doi.org/10.15421/40271026>

Lysa, N. K., & Sikora, L. S. (2015). Informatsiino-enerhetychna kontseptsii stvorennia vymiriuvalnykh system na pidstavi efektu VKR – rozsiuvannia fotoniv. *Kompiuterni tekhnologii druzkarstva*, 2(34), 28–39. [In Ukrainian].

Lysa, N. K., & Sikora, L. S. (2015). Informatsiino-enerhetychna kontseptsii ta bazovi modeli aktyvizatsii tekhnolohichnykh protsesiv na pidstavi lazernoho fotonoho zonduvannia. (Part 1). *Modeliuvannia ta informatsiini tekhnologii*, 74, 139–148. [In Ukrainian].

Lysa, N. K., Sikora, L. S., & Yavorskyi, B. I. (2017). Lazerna diahnostyka enerhetychnykh i prostorovykh obraziv, dynamika protsesiv fizyko-khimichnykh peretvoren. *Modeliuvannia ta informatsiini tekhnologii*, 78, 167–179. [In Ukrainian].

Lysa, N. K., Sikora, L. S., Martsyshyn, R. S., Miiushkovych, Yu. H., & Durniak, B. V. (2018). Integration of situational and cause and effect diagrams in category – functor structure of system representation. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(1), 131–135. <https://doi.org/10.15421/40280126>

Lysa, N. K., Sikora, L. S., Miiushkovych, Yu. H., Martsyshyn, R. S., & Yakymchuk, B. L. (2013b). Informatsiini tekhnologii ta lazerna aktyvatsiia dlia syntezy elektrokhimichnykh sensoriv z vykorystanniam diahram elektrokhimichnykh peretvoren. *Instytut problem modeluvannia v enerhetytsi*, 66, 111–121. [In Ukrainian].

Lysa, N. K., Sikora, L. S., Yakymchuk, B. L., & Miiushkovych, Yu. H. (2013a). Informatsiini tekhnologii zabezpechennia system kontroliu shkidlyvykh vykydiv TES v pryrodne sere dovyshe. *Modeliuvannia ta informatsiini tekhnologii*, 69, 178–187. [In Ukrainian].

Metody. (1989). *Metody informatiki v radiofizicheskikh issledovaniakh okruzhaiushchei sredi*. Moscow: Nauka, 256 p. [In Russian].

Poluektov, R. A. (1994). *Dinamicheskie modeli ekosistem*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 311 p. [In Russian].

Primak, A. V. (1999). *Sistemnyi analiz kontroliia i upravlinnia kachestvom vody i vozdukh*. Kyiv: Naukova dumka, 360 p. [In Russian].

Sikora, L. S., & Medykovskiy, M. O. (2002). *Avtomatyzatsiia keruvannia enerhoaktyvnymi ob'ektamy pry обмеzhennykh resursakh*. Lviv: TsSD, 298 p. [In Ukrainian].

Sikora, L. S., Lysa, N. K., Strepko, I. T., & Fedyna, B. I. (2017). Informatsiini tekhnologii vidboru i opratsiuvannia danykh vid ob'ektiv z ahrehatnoiu iierarkhichnoiu strukturoiu. *Kompiuterni tekhnologii druzkarstva*, 1(37), 15–24. [In Ukrainian].

Zakharov, M. S. (1986). *Metody i pribory avtomaticheskogo kontroliia vybrosiv TES*. Moscow: Energoatomizdat, 144 p. [In Russian].

Zerkalov, D. V. (2007). *Ekolohichna bezpeka: upravlinnia, monitoring, kontrol*. Kyiv: KNT Dakor. Osnova, 412 p. [In Ukrainian].

**Н. К. Лыса<sup>1</sup>, Л. С. Сикора<sup>1</sup>, Б. И. Федина<sup>2</sup>, Р. Л. Ткачук<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Национальный университет "Львовская политехника", г. Львов, Украина*

<sup>2</sup> *Украинская академия книгопечатания, г. Львов, Украина*

<sup>3</sup> *Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности, г. Львов, Украина*

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ДИАГНОСТИКИ УРОВНЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЫБРОСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОЙ 3D-КОНЦЕНТРАТОМЕРОВ**

На современном этапе развития технологий производства вредные выбросы продуктов технологического процесса, выросли до такого уровня, что влияют на состояние экосистем как местных так и глобального уровня, что приводит к изменению климата, создавая экологических несчастных случаи с серьезными последствиями для социальной инфраструктуры. Соответственно в будущем является проблема идентификации и диагностика источников загрязнения различных физических и химических и энергетической структуры становится преградой для роста производства. В статье проведен анализ литературы в котором рассмотрена проблема экомониторинга за период (1980-2017 годы), а также результаты исследований по истории стихийных бедствий за последние 100 лет. Проведено обоснование методов лабораторных исследований, наведены данные по измерительных инструментах и приборах, постановление правительства, международные программы экологической безопасности, подтверждающие актуальность исследования. Разработаны методы и задачи исследования уровня загрязнения экосистемы, обосновано методы создания сложных систем на основе системных информационных технологий, обобщено использование информационных ресурсов для построения концепции управления и принятия решений в системах экомониторинга. Проведен анализ структуры источников загрязнения, которые создают энергоактивные системы с иерархической структурой организации технологического процесса. Рассмотрены структура технологической энергоактивной системы на примере энергоблока электростанции. Проведен анализ режимов эксплуатации энергоактивного объекта на технологическом уровне формирования термодинамических энергетических преобразований, рассмотрены критические состояния загрузки энергоблоков, риски аварий. На основе литературных и технических данных построены таблицы, характеризующих свойства топлива (уголь), химической структуры продуктов сгорания их выбросы в атмосферу и экосреду (вода и почва).

**Ключевые слова:** Экологический мониторинг; диагностика; информационные технологии; обработка данных; структуры; системы; вредные выбросы; концентрация.

**N. K. Lysa<sup>1</sup>, L. S. Sikora<sup>1</sup>, B. I. Fedyna<sup>2</sup>, R. L. Tkachuk<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine*

<sup>2</sup> *Ukrainian Academy of Printing, Lviv, Ukraine*

<sup>3</sup> *Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine*

## **INFORMATION TECHNOLOGY OF IDENTIFICATION AND DIAGNOSIS OF CONCENTRATION LEVELS OF HARMFUL EMISSIONS OF TECHNOGENIC SYSTEMS IN THE NATURAL ENVIRONMENT WITH A LASER 3D-CONCENTRATOMETERS**

At the present stage, the development of production technology, and thus the emissions of products of the process, has grown to such a level that affects the state of ecological systems, both local global. This leads to climate change, causing environmental disasters with serious consequences for the social infrastructure. Therefore, the problem of identifying and diagnosing pollution sources of different physical, chemical and energy structure is further urgent. The analysis of the literature, in which the problem of environmental monitoring for the period of 1980-2017 years and presented the results of studies and the history of disasters for the last 100 years. The authors have justified laboratory techniques, measuring tools and instruments, government regulations, international environmental safety program, also confirms the relevance of the study. We formulated objectives of the study, grounded methods of creating complex systems of environmental monitoring based on information technologies and systems, information and resource management concepts and decision making to minimize harmful emissions. We analysed the structure of pollution sources, which are generated by active energy technological systems with hierarchical organization of the process. The structure of the active energy technological system for the example of a power unit of thermal energy systems is described. We held mode analysis of functioning an energetically active object on a technological level thermodynamic energy transformation, defined its critical condition as well. Based on the literature and technical data, we built tables showing properties of the fuel (coal), the chemical structure of the combustion products and their emissions, and the ecological environment (water, soil).

**Keywords:** environmental monitoring; diagnostics; information technology; processing information; structure; system; harmful emissions; concentration; risks.